8 月 August
2019, 62(8): 987 - 992
昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA
http: // www. insect. org. cn
doi: 10.16380/j.kcxb.2019.08.011

黑翅土白蚁巢群觅食群体大小与工蚁体长呈正相关

于 炜[1,2], 刘 锦[2], 张 媚[1], 王 恩[2], 张大羽[1,*]

(1. 浙江农林大学农业与食品科学学院, 杭州 311300; 2. 杭州植物园, 杭州 310013)

摘要:【目的】明确黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* 巢群的觅食群体大小与工蚁体长之间的关系,为进一步研究其生态学特点以及更好地开展防治提供依据。【方法】在杭州植物园内选择 5 处有黑翅土白蚁活动区域作试验点,诱捕并以中性红(neutral red)标记捕获的白蚁工蚁,通过"捕获-标记-释放-重捕"试验测定黑翅土白蚁的觅食群体大小。【结果】5 个试验点中有 4 个成功实施了"捕获-标记-释放-重捕"试验,4 个试验点黑翅土白蚁巢群的觅食群体个体数量分别为 443 133 ± 45 469, 495 360 ± 67 429, 674 345 ± 101 703 和 1 224 662 ± 93 112 头。黑翅土白蚁觅食群体大小(Y)与觅食工蚁的体长(X)呈正相关,拟合的指数函数方程式为:$Y = 1.8389e^{0.7185X}$ ($R^2 = 0.7834$)。【结论】本研究明确了黑翅土白蚁的觅食群体大小以及工蚁体长之间的函数关系,为开展区域防治提供了依据。

关键词: 黑翅土白蚁; 觅食群体大小; 工蚁; 体长; 标记重捕法

中图分类号: Q968　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 0454-6296(2019)08-0987-06

Foraging population size is positively correlated with the body length of workers in the black-winged termite, *Odontotermes formosanus* (Isoptera: Termitidae)

YU Wei[1,2], LIU Jin[2], ZHANG Mei[1], WANG En[2], ZHANG Da-Yu[1,*] (1. College of Agricultural and Food Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 2. Hangzhou Botanical Garden, Hangzhou 310013, China)

Abstract:【Aim】This study aims to clarify the relationship between the foraging population size and body length of workers of the black-winged termite, *Odontotermes formosanus*, so as to lay a foundation for ecological studies and area-wide termite management.【Methods】Five test sites abundant with *O. formosanus* termites in Hangzhou Botanical Garden were selected. Worker termites were captured and labeled with neutral red. The foraging population size of *O. formosanus* colony at each test site was determined by capture-mark-release-recapture experiments.【Results】The capture-mark-release-recapture experiments were successfully implemented at four of the five test sites. The foraging population sizes of *O. formosanus* colonies of the four test sites were 443 133 ± 45 469, 495 360 ± 67429, 674 345 ± 101 703 and 1 224 462 ± 93 112, respectively. A positive correlation was found between the foraging population size in *O. formosanus* colonies (Y) and the body length of workers (X), which fitted the exponential function, $Y = 1.8389e^{0.7185X}$ ($R^2 = 0.7834$).【Conclusion】This study clarified the functional relationship between the foraging population size and body length of workers of *O. formosanus*, providing basic data for area-wide termite management strategy.

基金项目: 杭州市科技发展计划项目(20160432B31); 杭州西湖风景名胜区管委会科技发展计划项目(2018005); 浙江农林大学科技发展项目(2012FR087)

作者简介: 于炜, 男, 1982 年 11 月生, 浙江杭州人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为城市昆虫生态学, E-mail: fish1158@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhangdayu@zafu.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-03-14; 接受日期 Accepted: 2019-05-27

Key words: *Odontotermes formosanus*; foraging population size; worker termite; body length; mark-recapture method

黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* 广泛分布于我国黄河以南各省(蔡邦华等, 1965),属土栖性白蚁,是为害农林植物最严重的白蚁种类之一,可危害多种农作物和林木。同时还是水利堤坝的重要害虫,为害严重时可造成堤坝漏水、溃口和塌方(徐志德等, 2007)。白蚁种群生态是白蚁防治的重要理论基础,对于区域白蚁综合治理(IPM)起着重要的作用(Ruan *et al.*, 2015; 尹红等, 2017)。使用脂肪染色剂作为标记物实施“捕获-标记-释放-重捕”(capture-mark-release-recapture)是目前国际上研究白蚁种群动态最有效的方法(Su, 1994),已被用于测算台湾乳白蚁 *Coptotermes formosanus*、格斯特乳白蚁 *C. gestroi*、黑胸散白蚁 *Reticulitermes chinensis*、栖北散白蚁 *R. speratus*、尖唇散白蚁 *R. aculabialis*、北美散白蚁 *R. flavipes*、西美散白蚁 *R. hesperus*、黄金异白蚁 *Heterotermes aureus* 等多种白蚁的群体大小和觅食范围(邢连喜等, 1998; Tsunoda *et al.*, 1999; Haverty *et al.*, 2000, 2010; Stansly *et al.*, 2001; Arab *et al.*, 2005; Su, 2005; Baker and Haverty, 2007; 胡剑等, 2010; Ruan *et al.*, 2015; 尹兵等, 2015; 尹红等, 2017)。尽管黑翅土白蚁觅食距离和范围已有研究报道(李栋等, 1981; Hu *et al.*, 2006),但是由于标记和饲养难度等原因,目前对于其巢内的觅食群体大小以及工蚁体长与群体大小关系的研究尚无详细报告。本研究期望通过标记重捕法来测算黑翅土白蚁的觅食群体大小以及群体大小与工蚁体长的函数关系,为进一步研究黑翅土白蚁的生态学和更好地开展区域白蚁综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料和装置

中性红生物染色剂(国药集团化学试剂有限公司),白蚁监测装置(宁波白蚁防治研究所)。

1.2 样地设置、采样及体长测量

在杭州植物园内选择5处有黑翅土白蚁活动的区域进行试验,其中植物分类区1处、灵峰景区1处、百草园1处、经济植物区2处。试验前1周调查1次各试验点的植被及白蚁情况,统计试验区域内主要植物种类及数量,并通过有蚁路的植株占全部植株的比例评估白蚁为害率;同时随机采集50头工蚁,用游标卡尺测量其体长,采用电子天平测量其重量。试验设3组重复。

1.3 “捕获-标记-释放-重捕”试验

试验于2018年7月开始,分别在每个试验点埋置5个白蚁监测装置,装置内使用黑翅土白蚁喜食的木兰科(Magnoliaceae)和蔷薇科(Rosaceae)植物枯枝,枯枝长15~20 cm,直径1~2 cm。3 d后检查各白蚁监测装置的诱捕情况,以成功诱捕到黑翅土白蚁的监测装置为中心点,在其四周按1 m×1 m埋置白蚁监测装置40~50个。同时,为增加中心点初始采集的数量,在中心监测装置边上增设监测装置4个。3 d后,检查中心点的5个监测装置,将诱捕到的黑翅土白蚁带回实验室,使用0.1%中性红染色的滤纸强迫喂食3~4 d进行染色标记。染色标记成功后,统计数量后放回原处。之后每隔3~4 d检查一次各试验点的全部监测装置,收集诱捕到的全部白蚁,分别统计标记个体和未标记个体的数量,将未标记的白蚁强迫喂食3~4 d,染色标记后放回原处。每个试验点“捕获-标记-释放-重捕”重复3次循环,试验时间持续25~30 d。

黑翅土白蚁群体大小较大时,采用重量法估计其群体大小,即以10头个体为一组称取10组,计算每头白蚁的平均重量,诱捕白蚁总重量除以平均值即为诱集点的白蚁数量(邢连喜等, 1998; 尹兵等, 2015)。

在进行“捕获-标记-释放-重捕”试验时,利用不同巢群的白蚁会发生激烈争斗的习性,对各试验点的监测装置所诱捕到的白蚁是否来自同一巢群进行验证,具体方法为:先观测同一监测装置内的白蚁是否发生争斗,然后取不发生争斗的监测装置内的白蚁10~20头放置于同一容器内,观测其是否发生争斗,若不发生争斗则视为同一群体。

1.4 数据分析

黑翅土白蚁巢群觅食个体数和标准误按下式计算(Su *et al.*, 1993):

$$N = (\sum M_i n_i)/[(\sum m_i)+1];\ SE = N\sqrt{[1/(\sum m_i+1)]+[2/(\sum m_i+1)^2]+[6/(\sum m_i+1)^3]};$$

$$M_i = \sum r_i。$$

式中 N 为觅食群体大小，SE 为标准误，M_i 为至第 i 重复“捕获-标记-释放-重捕”时已标记的白蚁个体总数，m_i 为第 i 重复“捕获-标记-释放-重捕”时捕获到的标记白蚁个体数，n_i 为第 i 重复“捕获-标记-释放-重捕”时诱捕到的白蚁个体总数，r_i 为第 i 重复“捕获-标记-释放-重捕”时释放的标记白蚁个体数。

2　结果

2.1　同生境黑翅土白蚁工蚁大小

经调查和测量，各个试验点的基本情况和黑翅土白蚁工蚁大小和体重见表 1。

表 1　各试验点基本信息以及白蚁情况

Table 1　General information regarding termites and test sites

序号 No.	试验点 Test sites	植被情况 Vegetation	白蚁情况 Termite situation
1	植物分类区 Plant taxonomy area	桂花 *Osmanthus fragrans* 疏林，林下无人工地被，多处黄土裸露，或覆盖少量枯枝落叶，或稀疏生长有野生杂草	10% 左右的桂花主干上可见明显蚁路且有白蚁活动，地面枯枝也有白蚁，工蚁平均体长 4.75 ± 0.38 mm，平均重量为 0.00756 ± 0.000687 g
2	灵峰景区 Linfeng scenic spot	香樟 *Cinnamomum camphora* 疏林，林下种植吉祥草 *Reineckia carnea*	30% 左右的香樟主干上可见明显蚁路且有白蚁活动，工蚁平均体长 4.28 ± 0.44 mm，平均重量为 0.00521 ± 0.000471 g
3	百草园 Medicinal plant garden	树木种类较多且数量多，林下郁闭度高，多为自然植被	20% 左右的树木主干上可见明显蚁路且有白蚁活动，工蚁平均体长 5.33 ± 0.57 mm，平均重量为 0.00817 ± 0.000863 g
4	经济植物区 A Economic plant area A	壳斗科（Fagaceae）植物疏林，林下种植人工草坪	20% 左右的树木主干上可见明显蚁路且有白蚁活动，工蚁平均体长 4.07 ± 0.32 mm，平均重量为 0.00467 ± 0.000384 g
5	经济植物区 B Economic plant area B	树木种类较多且数量多，林下郁闭度高，大部分黄土裸露，覆盖枯枝和落叶	10% 左右的树木主干上可见明显蚁路且有白蚁活动，地面枯枝也有白蚁，工蚁平均体长 5.51 ± 0.63 mm，平均重量为 0.00834 ± 0.000737 g

2.2　黑翅土白蚁觅食群体大小

5 个试验点除经济植物区 A 外，均完成了“捕获-标记-释放-重捕”试验。其中，经济植物区 B 试验点的黑翅土白蚁群体个体数量最大，觅食群体个体数量为 1 224 662 ± 93 112 头；分类区和灵峰景区试验点的黑翅土白蚁群体觅食群体个体数量较为接近，分别为 495 360 ± 67 429 和 443 133 ± 45 469 头。百草园试验点的黑翅土白蚁觅食群体大小介于前三者之间，觅食群体个体数量为 674 345 ± 101 703头。这 4 个试验点的监测装置布置以及“捕获-标记-释放-重捕”情况见图 1。

2.3　黑翅土白蚁工蚁觅食群体大小与工蚁体长之间的关系

黑翅土白蚁觅食群体大小与觅食的工蚁个体大小有密切的关系，觅食群体大小较大的巢群其工蚁也较大。每个试验点随机取工蚁 50 头，测量其平均体长，觅食群体大小最大的经济植物区 B 巢群的工蚁平均体长为 5.51 mm，也是 4 个试验点中最长的；觅食群体大小最小的灵峰巢群的工蚁平均体长为 4.28 mm，是 4 个试验点最小的（图 2）。将工蚁体长（X）和觅食群体大小（Y）用指数函数进行拟合，得到方程式为：$Y = 1.8389e^{0.7185X}$，相关系数 $R^2 = 0.7834$，表明两者在一定区间内呈正相关（图 2）。

3　讨论

标记重捕法是一种测算生物群体大小的常用方法，黑翅土白蚁群体个体数量大、活动范围广，适合使用该方法进行群体大小的测算。尽管对黑翅土白蚁觅食距离和范围有报道（李栋等，1981；Hu *et al.*，2006），但尚无其群体大小的详细报告。脂肪染色剂常用于白蚁染色标记，如尼罗蓝 A、中性红、耐尔蓝等均已被证实具有染色效果长、对白蚁毒力小等优点（胡剑等，2010；朱方丽等，2014）。通过室内染色明确释放标记白蚁的数量，是研究黑翅土白蚁群体大小的重要前提。染色时间是影响染色效果的重要因素。本研究采用强迫喂食的方法对黑翅土白蚁工蚁进行染色标记，食料为 0.1% 中性红染色

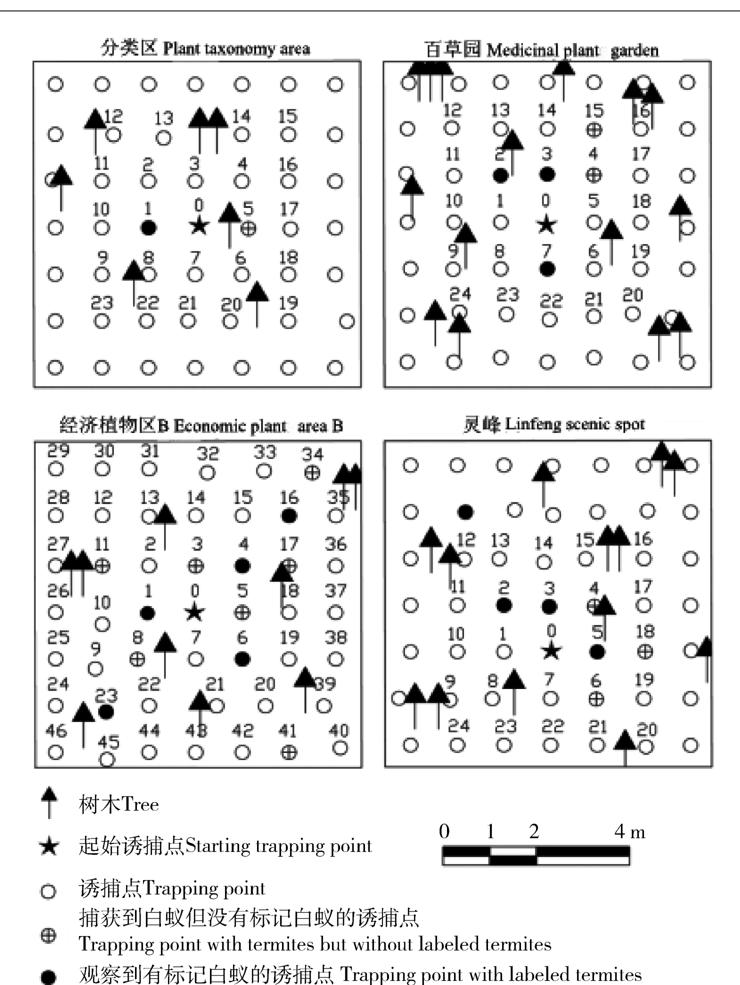


图 1 白蚁监测装置布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of setting of termite monitoring devices

图中数值为诱捕点编号。Numerals in the figure are the trapping point no.

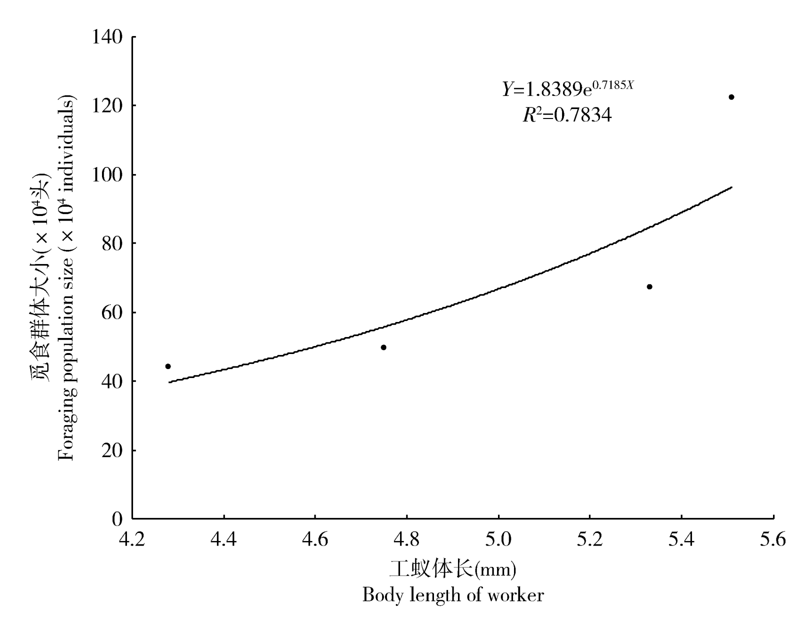


图 2 黑翅土白蚁觅食群体大小与工蚁体长之间的相关性

Fig. 2 Correlation between the foraging population size and the body length of workers of *Odontotermes formosanus*

的滤纸，染色标记期间保持环境黑暗且温度在 20 ~ 25℃，整个“捕获-标记-释放-重捕”试验过程中每次强迫喂食时间选择 3 ~ 4 d。

目前国内外多通过标记重捕法来测算多种白蚁的群体大小，其中栖北散白蚁 67 ~ 396 万头（尹红等，2017）、北美散白蚁 20 ~ 500 万头（Grace *et al.*，1989；Grace，1990；Su *et al.*，1993）、尖唇散白蚁 22 ~ 97 万头（邢连喜等，1998）、黑胸散白蚁 8 ~ 79 万头（尹兵等，2015）。本次成功实施“捕获-标记-释放-重捕”试验的 4 个试验点的黑翅土白蚁群体大小在 44 ~ 122 万头之间，巢内群体个体数量较尖唇散白蚁和黑胸散白蚁多。考虑到土白蚁在用中性红标记后，其存活率降低，在释放过程中有染色白蚁的死亡，这些因素都会导致推测的白蚁巢内群体个体数量偏少。

由于黑翅土白蚁群体发育成熟年龄可达 14 年（刘源智等，1995），在黑翅土白蚁的巢体从初建发育到成年巢旺盛期的过程中，随着巢龄增加，工蚁的数量会增加，不同品级白蚁的比例也会发生变化，觅食工蚁的平均体长也会随之增加，因此，工蚁的体长和群体大小间存在一定的相关性。本试验结果发现黑翅土白蚁觅食群体大小与觅食的成熟工蚁的体长呈指数函数关系。因此，根据工蚁的体长在一定程度上可以测算其种群的个体数量。由于本次试验获得的有效数据有限以及采样区域局限在杭州植物园，黑翅土白蚁工蚁体长和觅食群体大小的关系有待于进一步研究。

此外，黑翅土白蚁群体大小与蚁巢附近的食物、温度及湿度是否适宜有关。若蚁巢附近环境适合白蚁生活，白蚁群体会优先选择在附近繁衍，白蚁群体个体数量也越多（尹红等，2017）。百草园和经济植物区 B 植物种类多，林下郁闭度高，尤其是经济植物区 B 地表还有大量枯枝落叶，适合黑翅土白蚁觅食，因此群体个体数量也较多。

监控-诱杀技术与传统的防治方法有很大区别，需要掌握更多白蚁生活习性、觅食距离、活动范围以及群体大小等相关的生物学和生态学特性。本研究着重对黑翅土白蚁的群体大小进行测算，为开展区域综合治理尤其是监控-诱杀应用提供了生态学方面的基础数据，对白蚁防治的实践具有积极的指导意义。

参考文献（References）

Arab A，Costa-Leonardo AM，Casarin FE，Guaraldo AC，Chaves RC，2005. Foraging activity and demographic patterns of two termite species（Isoptera：Rhinotermitidae）living in urban landscapes in southeastern Brazil. *Eur. J. Entomol.*，102（4）：691 –697.

Baker PB，Haverty MI，2007. Foraging populations and distances of the desert subterranean termite，*Heterotermes aureus*（Isoptera：Rhinotermitidae），associated with structures in southern Arizona. *J. Econ. Entomol.*，100（4）：1381 –1390.

Cai BH，Chen NS，Chen AG，Chen ZH，1965. Nest structure of *Odontotermes formosanus*（Shiraki）and its development. *Acta Entomol. Sin.*，14（1）：53 –70.［蔡邦华，陈宁生，陈安国，陈志辉，1965. 黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus*（Shiraki）的蚁巢结构及其发展. 昆虫学报，14（1）：53 –70］

Grace JK，1990. Mark-recapture studies with *Reticulitermes flavipes*（Isoptera：Rhinotermitidae）. *Sociobiology*，16（3）：297 –303.

Grace JK，Abdallay A，Farr KR，1989. Eastern subterranean termite（Isoptera：Rhinotermitidae）foraging territories and populations in Toronto. *Can. Entomol.*，121（7）：551 –556.

Haverty MI，Getty GM，Copren KA，Lewis VR，2000. Size and dispersion of colonies of *Reticulitermes* spp.（Isoptera：Rhinotermitidae）in a wildland and a residential location in northern California. *Environ. Entomol.*，29（2）：241 –249.

Haverty MI，Tabuchi RL，Vargo EL，Cox DL，Nelson LJ，Lewis VR，2010. Response of *Reticulitermes hesperus*（Isoptera：Rhinotermitidae）colonies to baiting with lufenuron in northern California. *J. Econ. Entomol.*，103（3）：770 –780.

Hu J，Liu BR，Zeng WH，Zhong JH，2010. Dyeing effect of five dye marks on Formosan subterranean termite *Coptotermes formosanus* Shiraki. *J. Environ. Entomol.*，32（4）：488 –492.［胡剑，刘炳荣，曾文慧，钟俊鸿，2010. 五种染色剂对台湾乳白蚁的染色效果. 环境昆虫学报，32（4）：488 –492］

Hu J，Zhong JH，Guo MF，2006. Foraging territories of the black-winged subterranean termite *Odontotermes formosanus*（Isoptera：Termitidae）in southern China. *Sociobiology*，48（3）：661 –672.

Li D，Zhao Y，Shi JX，Chen RX，1981. Experiments on the foraging behavior of the termite *Odontotermes formosanus*（Shiraki）by labelling with radioactive iodine. *Acta Entomol. Sin.*，24（1）：113 –114.［李栋，赵元，石锦祥，陈容虾，1981. 利用放射性同位素碘标记法研究黑翅土白蚁的取食活动. 昆虫学报，24（1）：113 –114］

Liu YZ，Tang GQ，Pan YZ，Chen LD，He YZ，1995. The raising of new colonies of *Odontotermes formosanus*（Shiraki），ground surface activity and termite nest development for fourteen years. *Sci. Technol. Termites*，12（3）：11 –16.［刘源智，唐国清，潘演征，陈良德，何永忠，1995. 黑翅土白蚁新群体的饲养和其存活十四年的地表活动及蚁巢解剖. 白蚁科技，12（3）：11 –16］

Ruan GH，Song XG，Hu Y，Han N，Zhang DY，2015. Foraging activities of *Coptotermes formosanus* in subtropical areas in China. *J. Econ. Entomol.*，108：701 –706.

Su NY，1994. Field evaluation of a hexaflumuron bait for population suppression of subterranean termites（Isoptera：Rhinotermitidae）. *J. Econ. Entomol.*，87（2）：389 –397.

Su NY，2005. Response of the Formosan subterranean termites

(Isoptera: Rhinotermitidae) to baits or nonrepellent termiticides in extended foraging arenas. *J. Econ. Entomol.*, 98(6): 2143–2152.

Su NY, Ban PM, Scheffrahn RH, 1993. Foraging populations and territories of the eastern subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in southeastern Florida. *Environ. Entomol.*, 22(5): 1113–1117.

Stansly PA, Su NY, Conner JM, 2001. Management of subterranean termites, *Reticulitermes* spp. (Isoptera: Rhinotermitidae) in a citrus orchard with hexaflumuron bait. *Crop Prot.*, 20(3): 199–206.

Tsunoda K, Yoshimura T, Tokoro M, Matsuoka H, 1999. Foraging populations and territories of *Reticulitermes speratus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *J. Econ. Entomol.*, 92(3): 604–609.

Xing LX, Hu C, Cheng JA, 1998. Foraging populations and territories of *Reticulitermes aculabialis* Tsai et Hwang (Isoptera: Rhinotermitidae) in urban environment. *J. Zhejiang Agric. Univ.*, 24(2): 167–170. [邢连喜, 胡萃, 程家安, 1998. 尖唇散白蚁(Isoptera: Rhinotermitidae)取食群体大小与活动范围. 浙江农业大学学报, 24(2): 167–170]

Xu ZD, Li DY, Zhou GQ, Xiong JD, Huang ZN, 2007. Biological characteristics and integrated control of the blackwing subterranean termite. *Chin. Bull. Entomol.*, 44(5): 763–769. [徐志德, 李德运, 周贵清, 熊继东, 黄志农, 2007. 黑翅土白蚁的生物学特性及综合防治技术. 昆虫知识, 44(5): 763–769]

Yin B, Wang XM, Zhu FL, Huang HT, 2015. Research on foraging populations and territories of *Reticulitermes chinensis*. *J. Environ. Entomol.*, 37(6): 1182–1187. [尹兵, 王秀梅, 朱方丽, 黄海涛, 2015. 黑胸散白蚁取食群体大小与活动范围研究. 环境昆虫学报, 37(6): 1182–1187]

Yin H, Sui XF, Cui QL, Li PG, Wang XS, 2017. Survey of foraging populations and territories of *Reticulitermes speratus* (Isoptera: Rhinotermitidae) in the field. *Chin. J. Vector Biol. Control*, 28(5): 466–469. [尹红, 隋晓斐, 崔巧利, 李培光, 王新善, 2017. 栖北散白蚁取食群体大小及觅食范围的研究. 中国媒介生物学及控制杂志, 28(5): 466–469]

Zhu FL, Yin B, Wang XM, 2014. Research on dye markers of *Reticulitermes chinensis*. *Chin. J. Hyg. Insectic. Equip*, 20(5): 449–452. [朱方丽, 尹兵, 王秀梅, 2014. 黑胸散白蚁染色标记物的研究. 中华卫生杀虫药械, 20(5): 449–452]

(责任编辑: 赵利辉)